

### **Применение протокола AXI для микропроцессоров семейства "Эльбрус"**

В силу того, что в современных системах на кристалле вместе с процессорами размещаются и системные контроллеры (памяти, ввода/вывода, межпроцессорных линков, DSP-кластеров и другие), удается существенно повысить быстродействие и сократить энергопотребление. Вместе с тем, системы становятся более сложными, что приводит к дополнительным трудностям при их проектировании и отладке. Один из методов борьбы с возникающими проблемами — стандартизация внутренних интерфейсов.

Наибольшее распространение в этой области сейчас получил протокол AMBA AXI, разработанный компанией ARM. Он универсален, легко масштабируется и прост в реализации. Благодаря повсеместному применению, этот протокол удобно использовать в случае, если над одним проектом работает несколько предприятий. Именно такой разработкой является создание микросхемы, интегрирующей два универсальных процессорных ядра с архитектурой «Эльбрус» и DSP-кластер из четырех цифровых сигнальных процессоров для обработки радиолокационной информации.

В данном проекте протокол AXI использовался в двух целях. При реализации интерфейса с контроллером ввода/вывода требовалось найти оптимальную конфигурацию протокола при сохранении совместимости с существующей подсистемой ввода/вывода. В такой постановке была реализована полностью независимая работа каналов адресов и данных, приостановка потока данных, поддержка работы с маской, переменная длина пакетов и другие функции. Другой особенностью стало то, что контроллер разрабатывался без привязки к какому-либо конкретному проекту, поэтому некоторые элементы функциональности были не включены в устройство (например, работа с контроллером прерываний или конфигурационными регистрами). В результате, разработано RTL-описание устройства, а ряд тестов (как автономных, так и в составе всей системы) показал полную применимость AXI для решаемой задачи.

Ввиду своей универсальности и широким возможностям настройки протокол AXI также был использован для реализации интерфейса между контроллером оперативной памяти и коммутатором запросов. (Именно для этой цели созданы соответствующие IP-блоки такими компаниями, как Synopsys, ARM и Cadence.) Особенности разработки стали реализация буфера данных записи и поддержка составной операции «Чтение-Модификация-Запись». Последняя передается через канал WRITE вместе с пакетом данных из двух

посылок по половине кэш-строки и отличается от команды «Запись» значением сигнала AWBURST, отвечающего за тип адресации. Если обычный запрос имеет инкрементальный тип, при котором запись происходит по последующим адресам, то для составной операции данные посылки из одного пакета накладываются друг на друга по заданной маске в буфере записи. Все задействованные сигналы описываются стандартом протокола AXI.

Таким образом, протокол AMBA AXI был успешно внедрен в качестве интерфейса различных системных блоков микропроцессоров архитектуры «Эльбрус». С учетом продолжающегося усовершенствования стандарта (перехода на версию AXI4, введения расширения ACE с поддержкой когерентности в многоядерной системе) это подтверждает целесообразность его использования и в последующих разработках.

### Литература

1. «AMBA AXI Protocol Specification 2.0», ARM, 2010.